УДК 519.87

ЗАДАЧА НАХОЖДЕНИЯ БЫСТРЕЙШЕЙ ТРАЕКТОРИИ И ДИНАМИКИ АВТОМОБИЛЯ В УСЛОВИЯХ ГОНОЧНОГО ТРЕКА С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Ахтямов О.В.

научный руководитель к-т техн. наук Сергиенко Р. Б.

Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М. Ф. Решетнева

Системы автоматического управления являются перспективным направлением научной разработки. Системы управления транспортными средствами – не исключение. При проектировании таких систем часто возникают задачи оптимизации, которые сложно решить детерминированными методами. В этом случае может оказаться полезной реализация стохастического эволюционного метода оптимизации, в частности генетического алгоритма (ГА).

Целью данной работы является написание программы, решающей задачу отыскания быстрейшей траектории и соответствующего скоростного режима для автомобиля в условиях произвольной гоночной трассы (на первом этапе разработки коэффициент трения на всех участках постоянный). Автомобиль не должен сорваться в занос. Модель автомобиля упрощена до материальной точки.

Основные методы, использованные в работе: изучение, анализ, эксперимент, сопоставление.

Программа принимает следующие данные: коэффициент трения трека, ускорение свободного падения, карта трека, масса автомобиля, ширина автомобиля, динамические характеристики автомобиля (кривая максимального ускорения *accel(v)*, кривая максимального замедления *slow(v))*, где *v* – текущая скорость).

Модель автомобиля построена из кинематических соображений на основе эмпирических данных о разгоне 0-200 км/ч и торможении 200-0 км/ч по прямой в конкретных условиях (кривые максимального ускорения и замедления). Предполагается, что каждая передача трансмиссии автомобиля строго соответствует определённому скоростному диапазону, на одной передаче максимальное ускорение постоянно, а максимальное замедление постоянно всегда.

Модель трека строится следующим образом. Производится линейная аппроксимация одной из границ трека, точки P_i на этой границе берутся на одинаковом расстоянии s друг от друга, равном минимальной ширине трека на рассматриваемом участке. Далее для каждой точки P_i из середин двух соседних отрезков аппроксимации проводятся нормали к этим же отрезкам. Через точку пересечения нормалей C_i и точку P_i проходит прямая, пересекающая обе границы трека. Длина отрезка на этой прямой, ограниченного точкой P_i и другой границей трека, которая не подвергалась аппроксимации, есть заданная ширина трека l_i в точке P_i. Таким образом, точка W_i, принадлежащая траектории, будет находиться на этом отрезке. Радиус кривизны трека в точке P_i определяется как расстояние между этой точкой и точкой пересечения нормалей (аналогично и для самой траектории). Необходимо задать безопасный коридор. Для этого укоротим отрезок с каждого конца на половину ширины автомобиля. Далее делим отрезок на равные части так, чтобы каждую точку, в которой может находиться машина на данном отрезке, можно было закодировать целым числом бит (стандартная двоичная кодировка). Получили вектор дискретизации $\overrightarrow{dv_i}$ в точке P_i, длина которого $|\overrightarrow{dv_i}| = \frac{l_i - w}{2^a - 1}$, где l_i – ширина трека в исходной точке, w – ширина автомобиля, a – точность (2, 3 или 4 бита). Таким образом, решение задачи представляет собой вектор коэффициентов x_i для соответствующих векторов дискретизации $\overrightarrow{dv_i}$, задающий набор точек (ломаную), по которым будет проходить траектория движения.

$$W_i = P_i + x_i * \overrightarrow{dv_i}$$

$$x_i \in \{0,\ 1,\ 2,\ \ldots,\ 2^a - 1\}$$

$f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n, \mu, g, w)$ –
целевая функция

$v_{i\,max} = \sqrt{\rho(C_i, W_i) * (\mu * g - a_\tau)}$ -
максимальная безопасная скорость

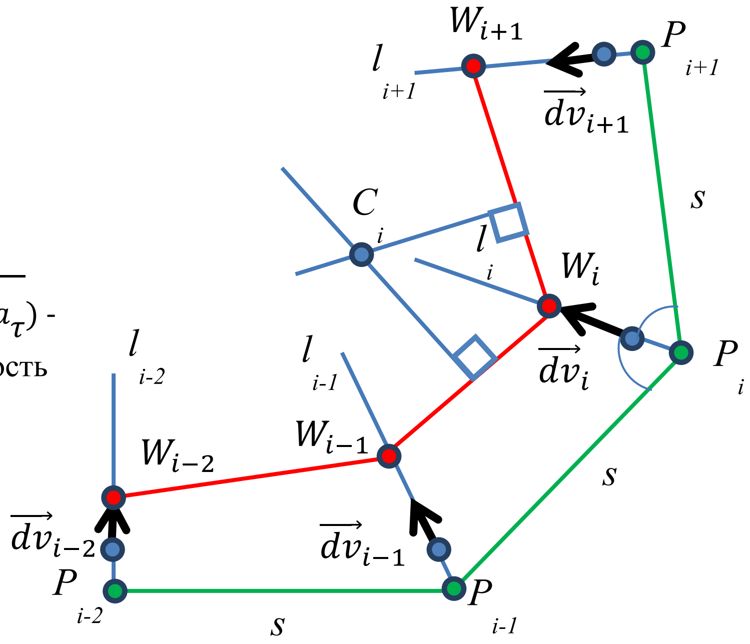

рис. 1
Модель трека

Решается задача минимизации по времени. Целевая функция f рассчитывается непосредственно моделированием прохождения трассы «пилотом». Стратегия пилота такова. Так как в каждой точке траектории определён радиус кривизны, то может быть рассчитана максимальная скорость $v_{i\,max}$, с которой эта точка может быть пройдена без потери сцепления, которую нельзя превышать (ρ- расстояние, μ- коэффициент трения покоя, g- ускорение свободного падения, a_τ – тангенциальное ускорение). При движении автомобиля в текущей точке траектории производится расчёт минимальной дистанции торможения. Далее для всех последующих точек траектории, которые укладываются в эту дистанцию торможения, производится анализ скоростного режима, возможно ли будет уложиться в скоростные ограничения в каждой точке на этой дистанции. Если даже в случае максимального замедления этого сделать нельзя, то берётся предыдущая точка траектории, и там задаётся такое допустимое замедление, чтобы автомобиль пришёл в текущую точку с нужной скоростью, если это также невозможно, то переходим к точке перед предыдущей, и так далее, пока условие не выполнится. В случае успеха продвигаемся в точку, следующую за текущей. При этом, учитывая заданную динамику ускорения и замедления, задаём такое допустимое ускорение, чтобы автомобиль не превысил скоростное ограничение в следующей точке.

Для решения поставленной задачи был реализован ГА со стандартным набором операторов. Использовалась стандартная двоичная кодировка решений. Тестирование производилось со средней точностью (3 бита на точку), длина трека 10 точек. Настройки ГА: селекция – ранговая, скрещивание – равномерное, мутация – средняя, размер популяции – 100, число поколений – 100, количество запусков алгоритма для вычисления значения надёжности - 100.

В первом случае ГА был протестирован на решении тривиальной задачи (рис. 2), когда вид траектории очевиден (прямая), и показал надёжность 0,9.

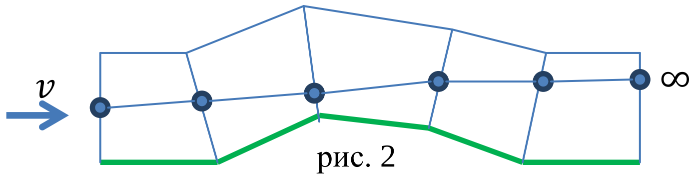

рис. 2
Тривиальная задача

Во втором случае ГА был протестирован на расчёте траектории в отдельном повороте с разными начальными и конечными условиями. Первая группа условий задавала быстрый вход и медленный выход из поворота (поворот после скоростной прямой, рис. 3), вторая – медленный вход и быстрый выход (поворот перед скоростной прямой, рис. 4). Здесь сложно строго говорить о надёжности, но в целом были получены адекватные результаты: движение по прямой удлинялось, в первом случае касание апекса происходило раньше, чем во втором.

В третьем случае рассматривалась связка из трёх поворотов. Касание апекса происходило примерно посредине второго поворота (рис. 5).

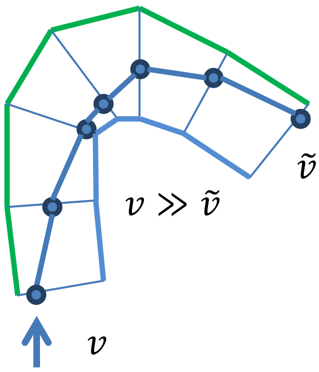

рис. 3
«Ранний» апекс

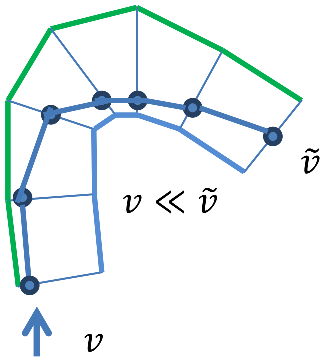

рис. 4
«Поздний» апекс

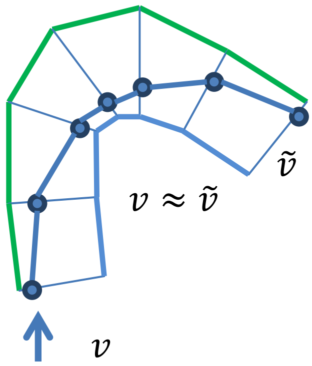

рис. 5
«Нормальный» апекс

ГА показал высокую эффективность при расчёте траектории в связке из 1-3 поворотов. Но, как видно, размерность задачи напрямую зависит от длины рассматриваемого участка трека. При количестве точек трека от 15 и выше наблюдается существенное ухудшение эффективности работы алгоритма в силу роста размерности. Можно разбить трек на участки между прямыми и решать эту задачу на каждом из них, но тогда встаёт вопрос о наложении начальных и конечных условий на каждый участок для его связи с предыдущим и последующим.

Планируется дальнейшая конкретизация задачи. Уточнения коснутся физической модели автомобиля и модели трассы. Вместо линейной аппроксимации трека и линейной интерполяции траектории будут использованы полиномиальные. Также в связи с вышеуказанными изменениями будет пересмотрен механизм расчёта целевой функции.

В дальнейшем планируется реализовать детерминированный метод решения данной вариационной задачи и сравнить полученный результат с решением, найденным с помощью ГА.